

УДК 621.3

М.Ю. Пакета, магістрант гр. ПБ-91мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОПТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Анотація.** Розглянуто умови отримання тонких ахроматичних просвітлюючих покриттів і виявлені закономірності в зміні коефіцієнта відбиття нанесеного покриття від параметрів його формування при нанесенні шару оксиду алюмінію. Визначено параметри технологічного процесу для кожного з шарів покриття та отримано залежності коефіцієнта відбиття функціонального покриття від режимів осадження: температури субстрату, швидкості конденсації та відхилень у товщині нанесеного шару.

**Ключові слова:** просвітлюючі покриття, мікроструктура, швидкість конденсації, оптична товщина.

### ВСТУП

Впровадження оптичних приладів і методів дослідження в різні галузі науки і техніки призводить до необхідності створення багатошарових діелектричних систем з унікальними вимогами до їх властивостей [1].

Подальше розширення функціональних можливостей створюваних оптичних систем вимагає якісно нового підходу, як до традиційних технологій формування поверхневого шару, так і до принципово нових перспективних видів обробки елементів оптоелектроніки, мікрооптики тощо [2, 3].

У сучасній оптотехніці використовується величезна кількість матеріалів, з покриттями, однак існуючі методи підвищення якості оптичних характеристик з використанням покриттів не завжди забезпечують необхідні експлуатаційні параметри оптоелектронних приладів [4].

**Метою роботи** є визначення залежності впливу основних технічних параметрів електронно-променевого напilenня на коефіцієнт відбиття просвітлюючого покриття на аморфному матеріалі.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Як об'єкт досліджень взято оптичну деталь – пластина зі скла К8 (оптичне кварцове скло), на яку наносили 3-шарову плівку з різних матеріалів за умов зміни технологічних параметрів формування з метою визначення коефіцієнта відбиття, якщо коефіцієнти заломлення залежить від похибок товщини шару.

Структура покриття: товщина зовнішнього шару рівна  $\lambda/4$ , середнього  $\lambda/2$ , внутрішнього  $\lambda/4$ , тобто другий шар був подвоєний, при цьому коефіцієнт відбиття сформованої плівки визначався у видимій області: 450-650 нм.

В якості плівкоутворюючих матеріалів на перший (від скла) наносився шар з окису алюмінію –  $Al_2O_3$  ( $n_3$ ), показник заломлення плівок якого значно впливає швидкість конденсації і коливається в інтервалі від 1,6 до 1,7.

Матеріалом другого шару покриття було вибрано оксид гафнію  $HfO_2$  ( $n_2$ ), показник заломлення якого в залежності від умов нанесена на субстрат при кімнатній температурі рівний 1.87, а зі збільшенням температури підкладки до 300°C зростає до 2.00.

Останнім наносили шар з фториду магнію  $MgF_2$ , показник заломлення якого практично не змінюється, тобто за стабільних умов  $n_1=1.38$ . Цей шар

наносився на підігрітий до  $300^{\circ}\text{C}$  субстрат таким чином отримували стабільну, тверду плівку, що має гарною адгезією.

Експериментальні дослідження з формування просвітлюючих покриттів виконували на вакуумній установці моделі ВУ-1АМ з оптичною схемою комплексу СФКТ-751В (Рис. 1), яка включає: 1 - електронний промінь; 2 - потік розпиленої речовини; 3 - вакуумна камера; 4 - субстрат; 5 - оснастка, що обертається; 6.1 - лампа розжарювання "на просвіт"; 6.2 - лампа розжарювання "на відображення"; 7 - плоскі дзеркала; 8 - зразок-свідок; 9 - цифровий вольтметр; 10 - осцилограф; 11 - електронний підсилювач; 12 - фотоелектронний підсилювач; 13 - монохроматор; А - анод (тигель); К – катод.

Система складається з освітлювача і оптичних елементів, які забезпечують формування світлового пучка: монохроматора, що працює в діапазоні  $0,22 \dots 0,8$  мкм, можливістю заміни дифракційної решітки для роботи в інших спектральних діапазонах, а також приймального і реєструючого блоків.

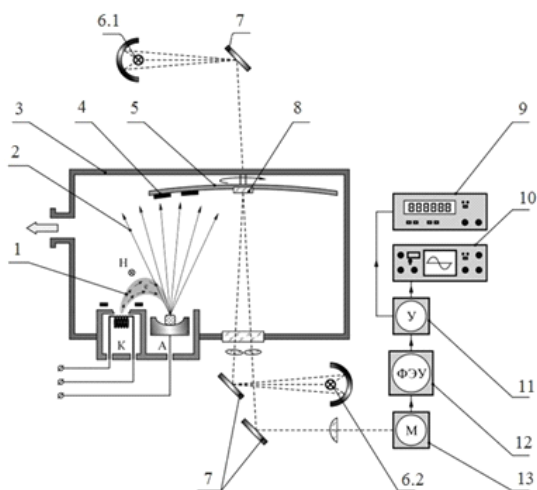


Рисунок 1. Схема установки ВУ-1А з оптичною схемою комплексу СФКТ-751В

Контроль товщини виконували за спектральним коефіцієнтом пропускання (відбиття), центрального (контрольного) або бічних (робочих) зразків, віддалених від центру на відстані  $60 \div 150$  мм.

Формування просвітлюючого покриття виконували методом електронно-променевого випаровування у вакуумі двоокису алюмінію, двоокису гафнію та фтористого магнію.

Технологічний процес нанесення ахроматичного просвітлюючого покриття

включав такі операції: підготовка обладнання, підготовка пластин зі скла К8, нанесення покриттів.

Нанесення покриття виконували при тиску  $1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$  мм.рт.ст., і з частотою обертання тримача  $20 \dots 40$  об/хв., з постійним контролем товщини шарів за допомогою фотометричного пристрою.

Після знегажування речовин, що випаровувались, шляхом сканування променю по поверхні пігулки окису гафнію, окису алюмінію або фтористого магнію відкривали екран і проводили нанесення шарів із заданою швидкістю конденсації, не допускаючи розприскування речовин, що випаровуються. Оцінку швидкості конденсації шару на поверхні деталі визначали за часом нанесення шару з оптичною товщиною  $\lambda/4$ .

Залежність коефіцієнту відбиття 3-шарового покриття від зміни температури субстрату і швидкості конденсації при нанесенні шару  $\text{Al}_2\text{O}_3$  показано на рисунку 2.

Дисперсія показника заломлення шару при нанесенні його при температурі субстрату  $40^{\circ}\text{C}$  і швидкості конденсації  $20 \text{ \AA}/\text{с}$  показана на рисунку 3 (крива 2),

а дисперсія показника заломлення шару при нанесенні його при температурі субстрату  $300^{\circ}\text{C}$  і швидкості конденсації  $27\ldots 28\text{\AA}/\text{с}$  (крива 3).

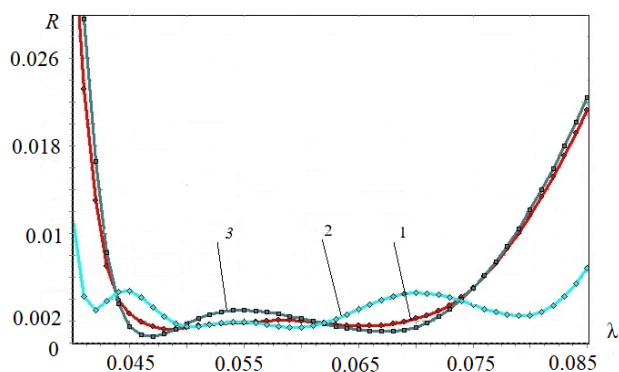


Рисунок 2. Залежність коефіцієнту відбиття 3-шарового покриття від зміни температури субстрату і швидкості конденсації при нанесенні шару  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

На довжині хвилі  $550\text{ нм}$  показник заломлення менший при коефіцієнті відбиття алюмінію  $1.61$ , тобто шар  $\text{Al}_2\text{O}_3$  слід наносити при температурі підкладки  $40^{\circ}\text{C}$  і швидкості конденсації  $20\text{\AA}/\text{с}$ . (Рис. 3 (крива 2). На рисунку 3 показана залежність коефіцієнта відбиття від похибок у товщині шару  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

При експериментальних дослідженнях значення геометричної товщини шару  $\text{Al}_2\text{O}_3$  змінювали у межах  $\pm 10\%$  і фіксували зміну

кінцевого показника відбиття покриття. Теоретична геометрична товщина шару складає  $0.0843\text{ мкм}$ .

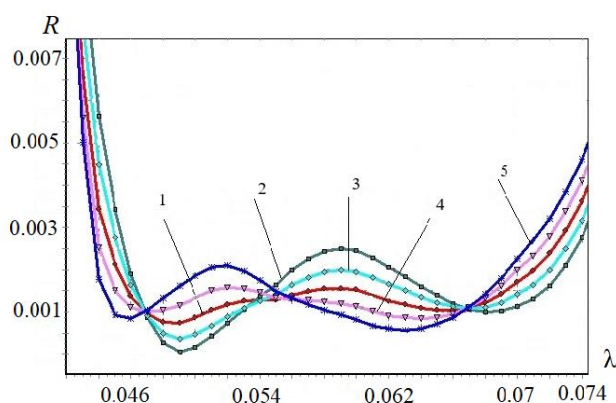


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта відбиття від варіювання товщини шару  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Найбільш низький коефіцієнт відбиття у видимій частині спектру отримали, якщо товщина шару буде на  $5\%$  більша (крива 4).

Як показали експериментальні дослідження для шару покриття  $\text{HfO}_2$  ( $n_1=1.38$ ;  $n_2=1.95$ ;  $n_3$  приймає значення  $1.61$  та  $1.7$ ).

Встановлено, що показник заломлення шару не впливає на коефіцієнт відбиття всього покриття,

але температура субстрату має бути нижчою за  $300^{\circ}\text{C}$ , товщина шару має нижчою за номінал у межах  $5\%$ .

Для шару покриття  $\text{MgF}_2$  – температура субстрату має бути близько  $300^{\circ}\text{C}$ , при такій температурі зростає щільність, твердість і адгезійна здатність плівок. В результаті досліджень встановлено, що для трьохшарового покриття  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--HfO}_2\text{--MgF}_2$  найкращі значення коефіцієнта відбиття отримали при показниках заломлення для  $n_1=1.61$ , при будь-якому значенні  $n_2$  і при  $n_3=1.38$ , відповідно.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити особливості формування ахроматичних просвітлюючих покриттів і виявити закономірності в зміні коефіцієнта відбиття покриття від параметрів його формування: температури субстрату, швидкості конденсації, похибок товщини шару.

Встановлено, що параметри формування кожного з трьох шарів покриття мають свої особливості, тому їх нанесення необхідно проводити з різними технологічними параметрами залежно від складу напилюваного матеріалу, при цьому зміни у товщині 3-го шару впливають на коефіцієнт відбиття сильніше, ніж такі ж зміни товщини у 1-му і 2-му шарах сформованого покриття.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Покриття у приладобудуванні / В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко, Ю. І. Коваленко, М. О. Бондаренко, Р. П. Гайдаш // К. : НТТУ «КПІ», 2016. – 360 с. : іл. – 106; табл. – 5. Бібліогр.: С.355-360, <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36387/1/pokryttya-u-pryladobud.pdf>
- [2] Skoryna E., The investigation of the nanoreliefs of optical elements of measuring instruments, which modified by electron-beam microprocessing / E.Skoryna, V.Medyanyk, M.Bondarenko, [etc.]/ Innovations. – 2018. – Year VI. – Issue 1. – P. 30-33. <https://stumejournals.com/journals/innovations/2018/1/30>
- [3] Yatsenko I., Antonyuk V., Kyrychenko O., Vashchenko V. Improving the reliability instruments of measuring and thermal control of objects of different physical nature by the finish of electron beam processing surfaces of optical elements // Machines. technologies. materials. International scientific journal. (*International journal for science, technics and innovations for the industry*). Вып. 1/2017 – 2017 – С. 20-23. <https://stumejournals.com/journals/mtm/2017/1/20.full.pdf>
- [4] Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування [Текст] : навч. посіб. // В.А. Ващенко, В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, І. В. Яценко, М. О. Бондаренко, О. В. Кириченко, М. П. Рудь – К.: НТУУ «КПІ», 2012.–412 с. [https://kafvr.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Vaschenko.Antonuk.Timchik.i.dr\\_.Osn\\_teploper\\_v\\_elem\\_optical\\_pb.pdf](https://kafvr.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Vaschenko.Antonuk.Timchik.i.dr_.Osn_teploper_v_elem_optical_pb.pdf)

**Наук. керівник – д.т.н. Антонюк В.С.**